

ИЗМЕНЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДИ ПРИ НАГРЕВЕ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Иванова М.А., Степанов С.И., Радаев П.С.

*Проф., д.т.н. Логинов Ю.Н., проф., д. ф.-м. н. Паль-Валь П.П. *,
проф., к.т.н. Демаков С.Л., доц., к.т.н. Илларионов А.Г.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*Физико-технический институт низких температур НАН Украины Харьков, Украина),

j.n.loginov@urfu.ru, *palval@ilt.kharkov.ua

В данной работе анализируются последствия термдеформационной обработки меди методом непрерывной разливки и сортовой прокатки. Выполнено исследование влияния температуры отжига меди в горячедеформированном состоянии на модуль упругости. Выявлен немонотонный характер этой зависимости.

Медь постоянно является объектом повышенного внимания исследователей физиков и технологов из-за ее большой роли в технике. В том числе важен дополнительный объем знаний о свойствах меди при воздействии пониженных и повышенных температур. Медь при криогенных температурах применяется в сверхпроводниковых устройствах и холодильной технике, а повышенные температуры возникают в результате нагрева проводников тока, в теплопередающих устройствах, а также в технологических процессах изготовления полуфабрикатов.

В зависимости от структурного и текстурного состояния меди могут значительно изменяться ее свойства, так, модуль упругости может изменяться трехкратно, прочностные свойства восьмикратно, пластические свойства – в десятки раз.

В работе анализируются последствия термдеформационной обработки меди методом непрерывной разливки и сортовой прокатки [1, 2]. Как было установлено методом динамического механического анализа (ДМА), модуль упругости холоднодеформированной медной проволоки при нагреве может снижаться от 155 до 110 ГПа [3, 4], т.е. примерно на 30 %. Это явление объясняется прохождением процессов рекристаллизации, изменения текстурного состояния, и, по крайней мере частично, изменением соотношения трех фаз в кислородсодержащей меди: самого металла, оксидных включений и пор [5]. Вид термической обработки меди наносит свой отпечаток на уровень достигаемых свойств [6].

Сама медная катанка производится в условиях быстрого охлаждения металла, поэтому логично предположить, что соотношения фаз в ней не являются равновесными, и дополнительный отжиг должен изменить

ее свойства. Для изучения такого явления проводили отжиг катанки, выполняли структурный анализ металла и дюрометрические исследования. В последнем случае применяли прибор MHTX CSM Instruments по методике Оливера и Фарра при нагрузке 1Н и скорости нагружения около 50 мкм/мин. Прибор позволяет одновременно с твердостью оценить модуль упругости.

При температуре отжига 300 °С происходит увеличение величины зерна до 28...34 мкм от размера 17 мкм для катанки в горячекатаном состоянии, прирост составляет почти 100 %. При увеличении температуры до отжига 600 °С увеличение размера зерна гораздо значительнее – до 170...199 мкм.

Таким образом, установлено, что отжиг горячедеформированной катанки приводит к увеличению размера зерна и установлены параметры для прохождения такого процесса. Дополнительная информация об изменении свойств получена при измерении микротвердости и модуля упругости (рис. 1).

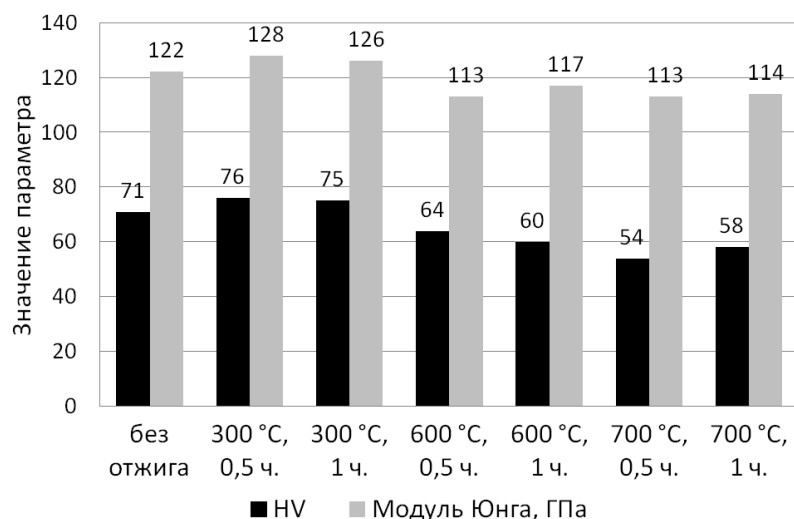


Рисунок 1 – Гистограмма свойств катанки до и после отжига

Выявлено, что при температуре отжига 300 °С не происходит к значительному изменению модуля упругости (около 127 МПа), но приводит к повышению твердости. Отжиг при 600 °С приводит к снижению твердости от 71...77 HV до 60...64 HV, т.е. на 20 %, и модуля упругости на 5...8 %. Отжиг при температуре 700 °С приводит к дальнейшему значению твердости, при сохранении модуля упругости на уровне 114 ГПа.

Понижение модуля упругости меди наблюдали также при отжиге ультрамелкозернистой (UFG) меди чистотой 99,95 %, полученной в результате интенсивной комбинированной пластической деформации, включающей многократную гидроэкструзию и волочение [7]. В результате изотермического отжига при повышенных температурах модуль сначала слегка (~ 0,8 %) возрастает, а после 210 °С резко уменьшается и после отжига

при 410 °С достигает минимального значения, которое на 35 % ниже модуля крупнозернистых образцов. При дальнейшем повышении температуры отжига снова наблюдается увеличение модуля.

Полученные данные при испытаниях медной катанки показывают также на наличие не так ярко выраженного минимума при температуре 300 °С, что объясняется близостью явлений, происходящих в металле. Не так ярко выраженные градиенты модуля объясняются малой степенью нагартовки меди, поскольку в ней уже прошли процессы динамической и статической рекристаллизации при горячей прокатке.

Работа выполнена в рамках госзадания 2014/236 Минобрнауки РФ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Логинов, Ю.Н. Анализ сортовой прокатки кислородосодержащей меди с учетом немонотонности характеристик упрочнения / Ю.Н. Логинов, А.Ю. Зувев, Ю.В. Инарович // Цветные металлы. – 2012. – № 7. – С. 77-81.
2. Логинов, Ю.Н. Структурное состояние медной катанки, полученной при непрерывном процессе литья-прокатки / Ю.Н. Логинов, С.Л. Демаков, А.Г. Илларионов, М.А. Иванова, В.А. Романов // Цветные металлы. – 2013. – № 8 (848). – С. 87-92.
3. Демаков, С.Л. Рекристаллизация нагартованной меди с позиции динамического механического анализа / С.Л. Демаков, Ю.Н. Логинов, А.Г. Илларионов, М.А. Иванова, С.И. Степанов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – Т. 80. – № 7. – С. 36-39.
4. Демаков С.Л., Логинов Ю.Н., Илларионов А.Г., Иванова М.А., Степанов С.И. Способ изучения первичной рекристаллизации. Патент RU 2496103. Приоритет №2012107942 от 01.03.2012. МПК G01N19/00. Оpubл. 20.10.2013. Бюл. № 29.
5. Логинов, Ю.Н. Возникновение пористых структур в кислородсодержащей меди при деформационном воздействии / Ю.Н. Логинов, С.Л. Демаков, А.Г. Илларионов, М.А. Иванова, М.С. Карабаналов // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 6. – С. 99-102.
6. Логинов, Ю.Н. Сопоставительный анализ свойств медной проволоки после протяжного и конвейерного отжига / Ю.Н. Логинов, С.Л. Демаков, А.Г. Илларионов, С.И. Степанов, Т.П. Копылова // Цветные металлы. – 2014. – № 10 – С.88-92.
7. Pal-Val, P.P. Unusual Young's modulus behavior in ultrafine-grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing / P.P. Pal-Val, Yu.N. Loginov, S.L. Demakov, A.G. Illarionov, V.D Natsik., L.N. Pal-Val, A.A. Davydenko, A.P Rybalko // Materials Science and Engineering A. – 2014. – V. 618. – P. 9-15.